

コンクリート開水路の補修工法に関する 評価について －（第1報）－

函館開発建設部 農業開発課 ○佐藤 大輔
谷江 大輔
久本 俊幸

農業水利施設のライフサイクルコストの低減と施設の長寿命化を図るストックマネジメントにおいては、診断、評価、対策工法などの関係技術を確認させる必要がある。函館開発建設部では、寒冷地における農業用コンクリート開水路の対策工法を確認させるため、平成27年度に表面被覆工法の施工を行っており、今回その概要とモニタリング結果を中間報告するものである。

キーワード：開水路、表面被覆工法、寒冷地、ストックマネジメント

1. はじめに

コンクリート構造物は長期供用に従い、初期施工条件や使用環境、気象等の諸条件に起因して磨耗や変形、中性化等の劣化が進行する。さらに積雪寒冷地においては凍結融解現象により凍害が発生し、強度低下が増幅する場合がある。

これらの劣化要素に対し、インフラ資源の適正管理のため日常の点検、定期的な補修および補強を実行することにより、農業水利施設の長寿命化を図ることが求められている。

長寿命化技術の有効性を検証するため、函館開発建設部では平成27年度に管内のコンクリートフリーム水路において表面補修工の試験施工を行った。さらに平成30年度（予定）まで、諸条件が表面補修材および躯体の機能に及ぼす影響についてモニタリング調査を行い、今後のストックマネジメントの適正な維持管理に活用することとしている。

本報告においては、これら研究に関する経過報

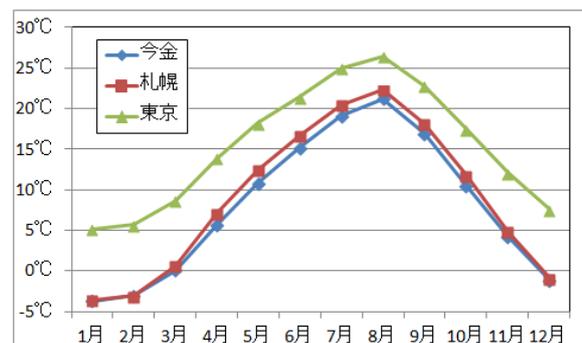
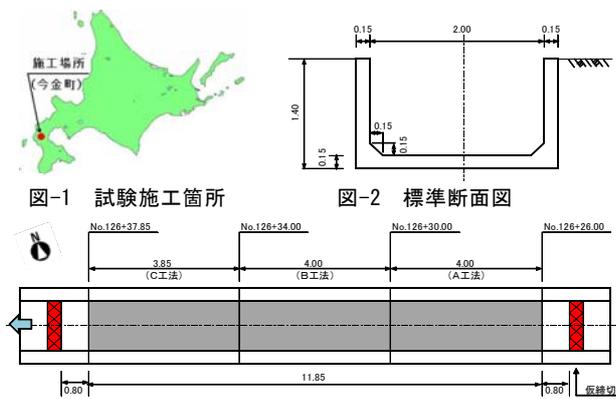
告として、施工段階及び施工後1年目までのモニタリング結果を報告する。

2. 施工箇所および気象条件

対象とした用水路は、今金町において国営かんがい排水事業北檜山左岸地区で昭和55年に建設された第1幹線用水路であり、試験区間はRC構造のフリーム水路である。

表-1 施設諸元

施設名称	第1幹線用水路
造成事業	直轄かんがい排水事業 北檜山左岸地区
造成工期	昭和55年(1980年)
経過年数	36年
供用開始	昭和56年(1981年)
施設管理者	狩場利別土地改良区
構造・寸法	現場打ちRC構造 フリーム水路 B2000×H1250



今金町の年平均気温は7.9℃であり、最低気温は昭和53年2月に-21.9℃を記録している。積雪深は過去30年で平均104cmであり、積雪は概ね11月下旬から始まり、4月上旬まで残る。

当該区間はほぼ東西方向に貫く直線であり、南向き面（右岸側）は日射を比較的浴びるため、モニタリングは主として凍結融解の影響を受けやすい南向き面を中心に実施している。

3. 工法選定

本用水路は、水中部においては流水による磨耗、水中・気中部全般に剥離・剥落が見られ、側壁肩部はスケーリングによる欠落が著しかったことから、表面被覆工法の選定に当たっては断面復旧が容易な無機系材料を使用することとし、この中で①HPFRCC系（複合材料）（以下、「A工法」）、②エポキシ樹脂系プライマー（以下、「B工法」）、③エマルジョン系プライマー（以下、「C工法」）の3パターンから、

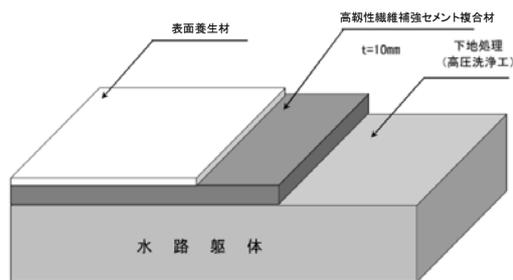


図-5 A工法 (HPFRCC系材料)

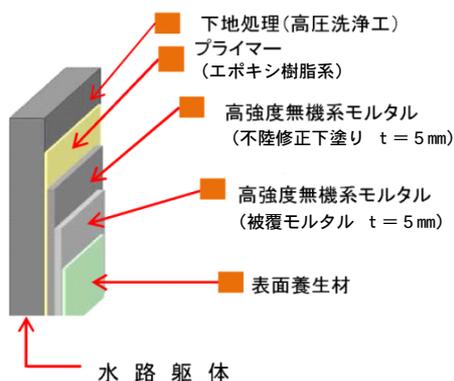


図-6 B工法 (エポキシ樹脂系プライマー使用材料)

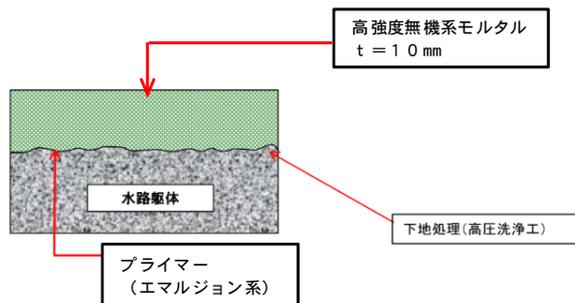


図-7 C工法 (エマルジョン系プライマー使用材料)

経済性、施工性、耐凍害性、耐摩耗性および道内での施工実績等を比較して検討し、図-5～7に示す3工法を選定した。

4. 準備工

(1) 着手前調査

最初に目視調査を行った結果、水中部は摩耗により骨材が露出しているが、気中部は目立った劣化は見られなかった。続く打音検査では全般的に低い音を出す傾向にあり、表層から浅い範囲に内部劣化があることが予想された。

さらに、ドリル法による中性化深さ試験でコンクリート内部の状況を調査した結果（表-2）、気中部で13.3mm（0.4mm/年）、水中部で5.8mm（0.2mm/年）まで中性化が進行していた。また、反発強度試験（リバウンドハンマー）（表-3）は5.6～20.9N/mm²で、数値にバラツキが見られた。

表-2 中性化試験結果
(着手前)

	右岸 気中部	右岸 水中部
経過年数	35	
平均削孔深(mm)	13.30	5.80
鉄筋被り(mm)	74.90	70.10
中性化速度(mm/年)	0.38	0.17
中性化残り(mm)	61.60	64.30

表-3 反発強度試験
(着手前)

	位置	推定強度 (N/mm ²)
着手前	左岸気中部	17.3
	右岸水中部	5.6
	右岸気中部①	20.5
	右岸気中部②	20.9

(2) 表面処理工 (超高压洗浄工)

施工は落水後の平成27年10月から12月にかけて実施した。

最初に、被覆材施工面の健全化のため超高压洗浄工（ウォータージェット工）により表面の劣化部を除去した。水圧については120kPa、150kPa、180kPaの3通りによる試験施工を行い、目視及び触診により確認した結果、表面の弱部セメント除去がより成されている180kPaを採用することとした。

超高压洗浄工は浮遊モルタルが無く、骨材、モルタルと躯体本体が固着した状態にまで実行することを基本とした。

(3) 表面処理工 (超高压洗浄工) 後の調査

超高压洗浄後の計測においては、中性化深さは2.1～2.5mmとなった（表-4）。気中部で約10mm、水中部で約3mmの不良部分が除去されたことになるが、完全には除去できないことがわかった。

反発強度は10.8～20.0N/mm²と低下しているが、骨材が表面に露出した状態での試験は難しく、この数値は参考にとどめる。鉄筋はかぶりの浅い部分で



写真-1 超高压洗浄工
試験施工



写真-2 施工状況



写真-3 着手前



写真-4 超高压洗浄後

表-4 超高压洗浄後の中性化深さ測定

	右岸 気中部 ①	右岸 気中部 ②	右岸 気中部 ③
平均削孔深(mm)	2.10	2.10	2.20
	左岸 気中部 ①	左岸 気中部 ②	左岸 気中部 ③
平均削孔深(mm)	2.40	2.40	2.50



写真-5 A工法(吹付工法)
施工中(左)と完成後(右)



表-5 超高压洗浄後の付着強度測定

位置	超高压洗浄後 測定付着強度						平均値 (N/mm ²)
	1回目		2回目		3回目		
	付着強度 (N/mm ²)	破断 位置	付着強度 (N/mm ²)	破断 位置	付着強度 (N/mm ²)	破断 位置	
左岸 水中部	1.93	母材	0.83	母材	0.27	母材	1.01
底版	2.24	母材	0.47	母材	1.29	母材	1.33
右岸 水中部	1.98	母材	0.95	母材	1.26	母材	1.40



写真-6 B工法(左官工法)
施工中(左)と完成後(右)



写真-7 C工法(左官工法)
施工中(左)と完成後(右)



発錆が見られたが、腐食は進行しておらず、切削等の対処にとどめている。

付着強度試験については、基準とされる「側壁：1部位3点の付着試験値は、それぞれ1.0N/mm²以上。底版：1部位3点の付着試験の平均値は、1.0N/mm²以上。かつ、個々の値は0.85N/mm²以上。」¹⁾を満たさない結果となった(表-5)。本来であれば所定の強度を得られる厚さまで超高压洗浄工を実施すべきだが、前述の通り触診及び目視で180kPaの圧力でも表面の弱部となる浮遊モルタルを除去されているのが確認できること、また、これ以上水圧を加えると躯体そのものの切削が進み原型を留めなくなる恐れがあることを考慮し、追加施工をすることなくこのままモルタル表面被覆の本施工に移行している。

5. 本施工

(1)表面被覆工

A工法は吹付工法、B工法とC工法は左官工法により、平均厚t=10mmを基準値として各工法の手順に従い表面被覆工を施工した(写真-3~7)。施工が冬期にかかる中、無機系材料を使用するため、防寒囲いを設置し、メーカー指導のもと適正温度で防寒養生を行った。

(2)施工直後の調査(観測初期値)

施工直後(28日養生後)の平成27年12月に計測した初期値データを以下に記す。

反発強度試験(表-6左側)については、A工法では14.3~16.7N/mm²、B工法では23.3~26.3N/mm²、C工法は18.3~27.4N/mm²となった。コンクリート設計の基準である21.0N/mm²を満たしているのはB工法のみであり、C工法は一部が、A工法においては全数値が基準を満たしていなかった。

付着強度試験(表-7左側)については、B工法ならびにC工法で、規定とされる1.0N/mm²を満たさない箇所が多く見られた。ただし、破断面を被覆材とする箇所が存在したため、付着性の問題だけでなく被覆材の養生不足も疑われた。

6. 施工から1年後の状況

(1)施工1年後の調査

施工から約1年を経過した平成28年10月にモニタリング調査を実施した。

a) 外観調査

外観の目視調査を行った結果、B工法及びC工法でクラックが複数発生していた(図-8)。補修が検討される幅0.2mm以上のクラックは無かったが、南向き面の肩部に集中してクラックが発生していた

表-6 反発強度試験(施工直後及び1年後)

工法	位置	推定強度 (N/mm ²)	
		施工直後(H27.12)	1年後(H28.10)
A工法 (HPFRCC系)	左岸気中部	16.7	33.9
	左岸水中部	15.7	32.4
	底板	—	19.1
	右岸水中部	14.3	33.9
	右岸気中部	15.2	34.3
B工法 (エポキシ樹脂系プライマー)	左岸気中部	25.6	43.2
	左岸水中部	26.3	42.3
	底板	—	32.8
	右岸水中部	23.3	40.8
C工法 (エマルジョン系プライマー)	右岸気中部	25.2	41.7
	左岸気中部	20.7	31.4
	左岸水中部	18.3	33.7
	底板	—	35.0
未施工区間	右岸水中部	22.8	39.9
	右岸気中部	27.4	37.1
	左岸気中部	14.7	22.9
	左岸水中部	9.7	11.7
未施工区間	底板	14.8	5.6
	右岸水中部	6.3	11.0
	右岸気中部	12.9	21.5

※施工3区間の底板は滞水のため、初年度は計測不可
 ※未施工区間の施工直後はH27年11月計測

ため、おそらく乾燥収縮によるものと考えられる。

A工法に目立ったクラックは無かったが、同工法はポリマーセメントモルタルに多数の化学繊維が添加されている繊維補強セメント複合材のため、クラックに対する追従性が強いと考えられる。また、同工法ではφ40程度の浮きが2点発生していた。

b) 中性化深さ

中性化深さ(表-8)は1年で1.14~1.73mm進んでおり、S-2評価である中性化残りが10mm未満になるのは、もっとも早いC工法で約29年後と算出される。3工法を比較した場合、現時点において特異な値は認められなかった。

c) 磨耗量

次に、流水が被覆材表面に及ぼす磨耗量を測定した結果(表-9)、平均0.17~0.48mm/年で磨耗していた。A工法で最も磨耗が進んでいたが、有意となる差は確認できなかった。初年度においては全体的に微少な数値であり、躯体にただちに影響を及ぼすまでは至らないと思われる。

d) 反発強度

反発強度試験(表-6右側)は一部において21N/mm²を下回ったが、おおむね30N/mm²を超える数値となり、前年度を上回った。

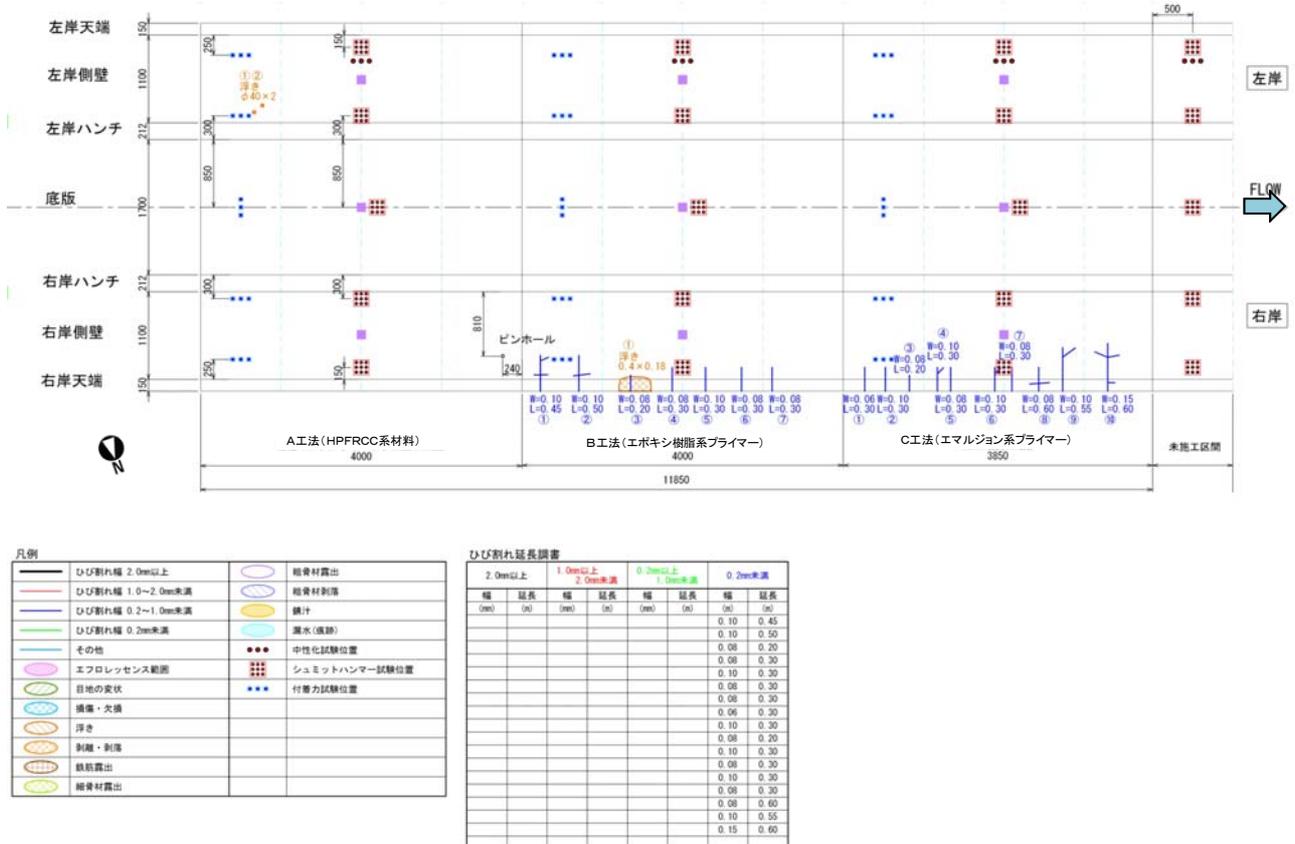


図-8 近接目視によるスケッチ図(1年後)

表-7 付着強度と破断位置

工法	位置	施工年度(H27年度)測定付着強度							1年経過後(H28年度)測定付着強度						
		1回目		2回目		3回目		平均値 (N/mm ²)	1回目		2回目		3回目		平均値 (N/mm ²)
		付着強度 (N/mm ²)	破断位置	付着強度 (N/mm ²)	破断位置	付着強度 (N/mm ²)	破断位置		付着強度 (N/mm ²)	破断位置	付着強度 (N/mm ²)	破断位置	付着強度 (N/mm ²)	破断位置	
A工法 (HPFRCC系)	左岸 気中部	2.94	被覆材	2.38	被覆材	2.87	界面	2.73	2.00	界面	2.56	母材	2.50	被覆材	2.35
	左岸 水中部	1.65	母材	2.08	母材	1.71	母材	1.81	1.69	母材	0.83	母材	1.39	母材	1.30
	底版	1.49	被覆材	1.42	被覆材	0.99	界面	1.30	1.92	界面	1.84	被覆材	1.65	界面	1.80
	右岸 水中部	1.37	被覆材	2.20	被覆材	2.76	被覆材	2.11	1.83	被覆材	2.24	被覆材	1.75	被覆材	1.94
	右岸 気中部	1.71	被覆材	1.37	被覆材	2.41	被覆材	1.83	1.43	被覆材	1.45	被覆材	2.38	被覆材	1.75
	B工法 (エポキシ樹脂系プライマー)	左岸 気中部	0.00	界面	0.88	被覆材	1.01	被覆材	0.63	2.48	母材	2.54	母材	3.11	被覆材
左岸 水中部	0.58	被覆材	0.53	被覆材	1.28	被覆材	0.80	3.13	母材	2.54	母材	3.11	母材	2.93	
底版	1.31	界面	1.76	界面	1.39	界面	1.49	2.76	母材	2.35	母材	3.05	母材	2.72	
右岸 水中部	0.68	被覆材	1.05	被覆材	0.53	界面	0.75	3.29	母材	2.47	母材	2.77	母材	2.84	
右岸 気中部	0.76	被覆材	1.18	被覆材	1.01	被覆材	0.98	2.24	被覆材	2.39	界面	2.81	母材	2.48	
C工法 (エマルジョン系プライマー)	左岸 気中部	1.72	被覆材	2.27	被覆材	0.20	界面	1.40	0.81	被覆材	1.92	被覆材	1.86	被覆材	1.53
	左岸 水中部	1.87	界面	1.79	被覆材	1.75	被覆材	1.80	2.49	母材	1.88	母材	2.19	母材	2.19
	底版	1.81	界面	1.26	界面	2.08	界面	1.72	3.21	母材	2.22	母材	1.57	母材	2.33
	右岸 水中部	0.47	被覆材	0.14	被覆材	0.44	被覆材	0.35	2.33	母材	3.00	母材	1.59	母材	2.31
	右岸 気中部	0.75	被覆材	0.59	被覆材	0.23	被覆材	0.52	2.59	被覆材	1.88	界面	2.11	界面	2.19

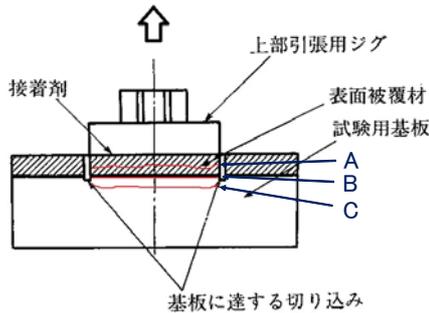


図-9 付着力試験における「破断面」のイメージ
A:被覆材 B:界面 C:母材

e)付着強度

付着強度試験(表-7右側)においては、全ての測点で基準値1.0N/mm²を上回る結果となった。特に、施工直後の計測で軒並み1.0N/mm²を下回ったB工法、C工法においては数値が上昇しており、また、破断面が被覆材ではなく母材に現れる傾向へ変わった(図-9)。

(2)施工1年後の考察

反発強度ならびに付着強度の試験結果より、各部材は材齢28日以降も強度発現が見られた。これについて底部と側壁で分けて考える。

底部については、本地点は周囲より低みにあり、路線の前後から雨水が集まり常時滞水する状態にある。冬期においては積雪により一定温度が保持され、また融雪後は滞水による湿潤状態が続くため、湿潤

表-8 中性化深さ試験(1年後)

	A工法 (HPFRCC系)	B工法 (エポキシ樹脂系プライマー)	C工法 (エマルジョン系プライマー)
経過年数	1		
平均削孔深(mm)	1.14	1.36	1.73
鉄筋被り(mm)	60.09	70.91	60.94
中性化速度(mm/年)	1.14	1.36	1.73
中性化残り(mm)	58.95	69.55	59.21

計測は全て側壁左岸気中部。

表-9 表面の磨耗量測定(1年後)

工法	位置	磨耗進行速度 (平均値) (mm/年)
A工法 (HPFRCC系)	左岸水中部	0.34
	底版	0.60
	右岸水中部	0.49
B工法 (エポキシ樹脂系プライマー)	左岸水中部	0.32
	底版	0.00
	右岸水中部	0.18
C工法 (エマルジョン系プライマー)	左岸水中部	0.00
	底版	0.82
	右岸水中部	0.18

養生が進行した可能性がある。

また、側壁は材齢28日後に寒気に晒されたが、その後の降雪ならびに融雪により断続的に湿潤状態に置かれたと推測される。

表-10 施工1年後における工法比較結果

工法	経済性※ (直工費)	施工性※	中性化 深さ試験	反発強度 試験	付着強度 試験	磨耗量 測定	近接目視 観測
A工法 (HPFRCC系)	9,200円/m ²	標準施工量:80m ² /日 吹付用工具を必要とするが、 スピード性で優れる	◎	○	○	○	小さな浮きはある が、全般的に良好
	1位	◎					◎
B工法 (エポキシ樹脂系 プライマー)	10,000円/m ²	標準施工量:30m ² /日 左官工法であり作業員確保が 容易だが、重塗りのため作業 途中に空白期間を要する。	◎	◎	◎	◎	南向き面側壁肩部 に複数のクラックあり
	3位	○					○
C工法 (エマルジョン系 プライマー)	9,800円/m ²	標準施工量:25m ² /日 左官工法であり作業員確保が 容易	○	◎	◎	◎	南向き面側壁肩部 に複数のクラックあり
	2位	○					○
短評	※金額は独自で 算出	※準備工、下地処理、養生期間 等は除く	1年後において は、大きな差は 見られない	3工法とも、基準 値21.0N/mm ² を 満たす	3工法とも、基準 値1.0N/mm ² を満 たす	韌性モルタルの磨 耗が比較的大きい が、ただちに影響 は無い	クラック幅0.2mm 以下のため補修の 必要無し

加えて、施工直後（H27年12月）の時点では低温により接着剤の強度発現が遅れ、それが付着強度の低下に結びついていたのではないかとと思われる。

ただし、これらはあくまで推測の域であり、今後において被覆材の劣化がどのように進行するか、次年度以降の観察を進めたい。

7. 今後の課題

1回目の越冬ならびに通水を踏まえ施工から1年経過した状態においては、各工法の材質の性状について機能性に支障をきたすような劣化は見られなかった。

本試験は、長期供用を前提としたコンクリート

施設の補修工法に関する比較検討・検証を目的としている。翌年度以降も引き続き、寒冷気候が表面被覆材に与える影響について観察を続け、施工から3年後を目処に結果をまとめる予定である。

本研究は寒地土木研究所との共同試験であるため、今後も指導ならびに助言を頂きながらモニタリング調査を進め、積雪寒冷地のコンクリート開水路の長寿命化技術確立へ向けて努力したい。

参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局：農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】(案)，p.130 (2013)